

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN GEOLOGÍA, CURSO 2019-2020

Universidad de Zaragoza, Departamento de Ciencias de la Tierra

Paleontología y Estratigrafía de la Formación Villar del Arzobispo en el entorno de Veguillas de la Sierra (Teruel)

Alumno: Raúl Casinos Gómez

Directores: José Ignacio Canudo Sanagustín

Marcos Aurell Cardona



Universidad
Zaragoza



Facultad de Ciencias
Universidad Zaragoza

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| ABSTRACT | 2 |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 3 |
| 1.1. Planteamiento y objetivos | 3 |
| 1.2. Antecedentes | 3 |
| 1.3. Metodología..... | 5 |
| 2. CONTEXTO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO..... | 6 |
| 3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS..... | 8 |
| 3.1. Caracterización estratigrafía y sedimentológica..... | 8 |
| 3.1.1. Columna AC..... | 8 |
| 3.1.2. Columna Al | 12 |
| 3.2. Paleontología..... | 15 |
| 4. DISCUSIÓN..... | 21 |
| 4.1. Interpretación paleoambiental | 21 |
| 4.2. Edad de la Fm. Villar del Arzobispo en la zona de estudio..... | 23 |
| 4.3. Discusión paleontológica | 23 |
| 5. CONCLUSIONS..... | 25 |
| 6. REFERENCIAS | 26 |
| ANEXO 1: cartografía de la zona | 29 |
| ANEXO 2: columna AC..... | 30 |
| ANEXO 3: columna Al..... | 31 |

ABSTRACT

The present work focuses on the stratigraphic and paleontological study of the Villar del Arzobispo Formation in the Veguillas de la Sierra, Arroyo Cerezo and Alobras domain, which is integrated into the north western margin of the Valencia Basin. Despite the marginal situation within the basin, this formation has not been object of detailed stratigraphical and paleontological studies in the zone, so in this work, the first detailed stratigraphic columns and the situation of unpublished paleontological sites and remains will be shown.

This formation is mainly composed of detritic sediments that were deposited in a fluvial to coastal environment, although an isolated carbonate level has been detected into the southern half of the study zone. This level has been called AC-VS, and is located in the middle part of the unit, showing a shallow marine origin, probably into a semi-restricted lagoon based on the fossil association. Besides this, AC-VS contain a benthic foraminifera association that suggests a late Kimmeridgian age for this level and the sediments below it (lower part of the Villar del Arzobispo Fm), probably reaching a lower Tithonian age in the sediments above it (upper part of the Villar del Arzobispo Fm).

Most of the paleontological remains are located into the upper part of the unit, being the fossils of greatest interest two vertebral bodies classified as belonging to Sauropoda, probably of the clade Titanosauriformes, and two carpal elements associated to one of them. Added to this, a sandstone block with two tridactyl tracks, probably with ornithopod dinosaurs as track makers, has been found in the north part of the studied zone.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento y objetivos

En el presente Trabajo de Fin de Grado se realiza un estudio estratigráfico y paleontológico de la Formación Villar del Arzobispo en el entorno de Veguillas de la Sierra y Alobras (Teruel), así como en los alrededores de Arroyo Cerezo (Valencia). Este es un sector que, debido a la escasez de buenos afloramientos y a la escasa potencia de dicha unidad, apenas ha llamado la atención para la elaboración de estudios estratigráficos detallados ni campañas de prospección paleontológica. Por ello, durante el presente trabajo se llevará a cabo la caracterización estratigráfica y sedimentológica de esta formación en la zona, poniendo especial atención en un pequeño nivel carbonatado con gran interés cronoestratigráfico, a la vez que se darán a conocer diferentes hallazgos paleontológicos y se procederá a describir e identificar, en la medida de lo posible, cada uno de los restos que en ellos han sido recogidos.

De esta manera, los objetivos del trabajo son:

- La caracterización estratigráfica de la Formación Villar del Arzobispo en la zona elaborando una cartografía general y dos columnas.
- La interpretación paleoambiental de dicha formación.
- La descripción y datación bioestratigráfica de un nivel carbonatado, intercalado en la parte media de la formación, por medio del estudio de láminas delgadas.
- La presentación y situación de los distintos yacimientos paleontológicos hallados.
- La identificación, descripción y clasificación del material paleontológico encontrado.
- La puesta en práctica de distintos conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera de Geología, así como el aprendizaje de nuevas metodologías de trabajo y conceptos.

1.2. Antecedentes

El primer estudio que caracteriza los materiales de la zona de Veguillas de la Sierra-Arroyo Cerezo es la cartografía de la hoja MAGNA nº 612 (Rubio *et al.*, 1978). En este sector, los autores agrupan a la parte inferior de la actual Fm. Villar del Arzobispo como una unidad de edad Portlandiense-Aptiense inferior, en facies *Weald* y discordante sobre el Jurásico superior calcáreo; al nivel de calizas denominado AC-VS en el presente trabajo se atribuye al Aptiense, y la parte superior de la unidad se considera como perteneciente al Grupo Utrillas.

Poco tiempo después, Meléndez (1983) publica su tesis sobre el Cretácico inferior y medio en la zona oriental de la provincia de Cuenca y el Rincón de Ademuz. En ella, identifica por primera vez el nivel carbonatado AC-VS como perteneciente a las “facies *Purbeck*”, y no a materiales aptienses como designaron Rubio *et al.* (1978). Además, atribuye los 57 m de materiales situados por encima de este nivel a la Fm. El Collado (Hauteriviense?-Barremiense inferior).

A su vez, en ese mismo año tuvo lugar la cartografía de la hoja MAGNA nº 589 (Aznar *et al.*, 1983), que abarcaría la zona de Alobras. Los materiales de la Fm. Villar del Arzobispo se engloban en una unidad de edad Portlandiense-Valanginiense inferior, en “facies *Purbeck*” y en contacto concordante sobre el Jurásico calcáreo marino.

La Fm. Calizas, areniscas y arcillas de Villar del Arzobispo fue definida por Mas y Alonso (1983) y descrita más detalladamente por Mas *et al.* (1984) en la zona NW de Valencia y parte del extremo este de Cuenca. En este último trabajo se presenta como una unidad de carácter mixto, terrígeno-carbonatado que evoluciona de forma gradual y concordante con la Fm. Higuieruelas, presentando en su base una asociación predominantemente carbonatada e interpretada como facies de *lagoon*, y en su parte superior una segunda asociación mucho más detrítica interpretada como facies de llanura mareal surcada por canales con influencia fluvial variable. A la formación se le atribuye una edad Kimmeridgiense superior-Portlandiense. Además, estos autores realizan el primer mapa de isopacas de la formación, determinando para la zona NW de la hoja 612 del MAGNA (sector Veguillas de la Sierra-Arroyo Cerezo) un espesor de en torno a 50 m.

Años después, e incentivados por los numerosos hallazgos de dinosaurios, Luque *et al.* (2005) realizan un estudio estratigráfico en la localidad cercana de Riodeva, donde atribuyen los materiales fosilíferos a la Fm. Villar del Arzobispo y la dividen en tres tramos: el inferior, de carácter detrítico-carbonatado, con influencia marina y concordante sobre la Fm. Higuieruelas; el intermedio, de carácter predominantemente detrítico y fluvial (que concentra la mayor parte de los yacimientos); y el superior, de nuevo con sedimentos detríticos y carbonatados con influencia marina. También identifican a los sedimentos que se apoyan discordantes sobre esta unidad como pertenecientes a la Fm. El Collado.

Posteriormente, Santisteban y Santos-Cubedo (2010) realizan un estudio con el fin de caracterizar los depósitos de la Fm. Villar del Arzobispo en la Cuenca Sur-Ibérica. Dentro de ella definen dos tipos de facies: las facies Baldovar, situadas en la parte SE de la cuenca y caracterizadas por un mayor predominio de sedimentos marinos someros y transicionales; y las facies Riodeva, situadas en la zona NW de la cuenca y con presencia dominante de depósitos continentales y costeros. Identifican a las primeras como los dominios distales de un sistema deltaico dominado por la acción del oleaje, y a las segundas como los dominios más proximales y con menor influencia marina.

Recientemente, Campos-Soto *et al.* (2019) realizan un estudio multidisciplinar de los depósitos con dinosaurios tradicionalmente atribuidos al tránsito Jurásico-Cretácico en las cuencas del Maestrazgo y Sur-Ibérica. Para los de la Cuenca Sur-Ibérica determinan una edad Kimmeridgiense-Titoniense en base a los macroforaminíferos bentónicos presentes en los niveles calcáreos, y atribuyen estos depósitos exclusivamente a la Fm. Villar del Arzobispo, sugiriendo así la eliminación de la Fm. El Collado y la Fm. Aldea de Cortés. Además, estos autores atribuyen los depósitos detríticos de la Fm. Villar del Arzobispo a ambientes fluviales, deltaicos o eólicos.

Por último, Aurell *et al.* (2019) publican un amplio trabajo en el que abarcan la historia tectono-estratigráfica del SW de la Cuenca Ibérica desde el Jurásico medio hasta el Cretácico Inferior. En este integran la zona del presente estudio dentro del denominado “dominio de Albarracín”, el cual constituye el margen noroccidental de la cuenca durante el Jurásico Superior, e identifican a la parte inferior de la Fm. Villar del Arzobispo como coetánea con la parte superior de la Fm. Higuieruelas en zonas lindantes del dominio de Valencia. Además, relacionan la laguna estratigráfica entre la Fm. Villar del Arzobispo y el Gr. Utrillas a lo largo de todo el dominio de Albarracín, con el levantamiento tectónico de este bloque durante la fase de *rifting* del Cretácico Inferior.

Los antecedentes paleontológicos en la zona de estudio han sido muy escasos hasta el momento. Pese a ello, cabe destacar que la primera icnita de dinosaurio descrita en España fue encontrada en Arroyo Cerezo y publicada por Lapparent *et al.* (1965). Estos autores la describen como una pequeña huella tridáctila, conservada como contramolde en un bloque procedente de las calizas del Jurásico Superior (seguramente de la Fm. Jabaloyas). Sin embargo, un estudio más reciente llevado a cabo por Gámez y Belinchón (2013) sugiere que esta no es una icnita de dinosaurio, sino una estructura formada por superposición de tres galerías fósiles.

Además de este, hubo otro yacimiento interesante en Arroyo Cerezo, esta vez de material óseo, que fue registrado por Lapparent (1966) como una “pelvis de dinosaurio” encontrada en materiales de las “facies *Weald*”. El paradero actual de este material es desconocido, pero en el presente trabajo sí que se ha conseguido situar el punto exacto del hallazgo en base a testimonios de los lugareños (fig. 3 y anexo 1), dándole el nombre de “El Cebadal” al yacimiento.

Los únicos hallazgos de restos óseos directos bien documentados en la Sierra de Albarracín son publicados por Royo-Torres *et al.* (2008). Pertenecen a la Fm. Villar del Arzobispo, y entre ellos destaca la vértebra caudal CAS3-1 del presente estudio, hallada en Veguillas de la Sierra (fig. 8) e identificada como perteneciente a *Turiasaurus riodevensis*. Los demás restos se identifican como un centro vertebral dorsal (Eusauropoda indet.) y un fragmento de sacro (Thyreophora indet.), encontrados en Jabaloyas, y un extremo proximal de un radio (Sauropoda indet.), encontrado en Rubiales. Además, cabe destacar la presencia de las únicas icnitas de dinosaurio citadas en la Sierra de Albarracín, procedentes de la Fm. Villar del Arzobispo en el municipio de Moscardón y conservadas como contramoldes de arenisca, siendo identificadas como de terópodo, saurópodo y estegosaurio (Herrero y Pérez-Lorente, 2013).

1.3. Metodología

Para la realización del presente Trabajo Fin de Grado, se llevaron a cabo distintas metodologías y procedimientos, los cuales se pueden sintetizar en trabajo de campo, de laboratorio y de gabinete:

- El **trabajo de campo** consistió en el estudio detallado de la Fm. Villar del Arzobispo a lo largo del área abarcada, lo cual conllevó la realización de dos columnas estratigráficas, con la consecuente caracterización petrológica y sedimentológica de los materiales, la realización de fotografías a escala de afloramiento, y la toma de 7 muestras de calizas con su correspondiente siglado (fig. 3 y anexo 2). A su vez, se realizaron prospecciones paleontológicas sobre el terreno, prestando especial atención a las zonas con yacimientos previos y geolocalizando y situando estratigráficamente todos los hallazgos de elementos fósiles de vertebrados. Además, se tomaron tres muestras de 4 kg de material lutítico en lugares de gran acumulación de fósiles de vertebrados o en zonas presuntamente favorables para su conservación.
- El **trabajo de laboratorio** supuso el estudio, mediante microscopio petrográfico, de las láminas delgadas elaboradas por el Servicio de Preparación de Rocas y Materiales Duros de la Universidad de Zaragoza a partir de las muestras de calizas recogidas en el campo. Además de esto, se realizó la limpieza del material fósil recogido durante las prospecciones de campo y se llevó a cabo el lavado de material lutítico con su posterior triado.
La limpieza de fósiles se realizó generalmente de forma mecánica, por medio de cepillo y agua en los casos de menor consolidación del sedimento y mediante percutor de aire

comprimido (o incluso con cuña y martillo) en los casos en los que la matriz presentaba una mayor consistencia. Además de la limpieza mecánica, en algunos restos se utilizó vinagre (ácido acético) para disolver parte del carbonato que cementaba los granos de la arenisca y así facilitar la limpieza mecánica.

Para el lavado del material blando, se sumergió en un cubo de agua y se le añadieron unos 300 ml de agua oxigenada, dejando al conjunto reposar en torno a una hora con el fin de degradar la materia orgánica presente en el sedimento. A continuación se hizo pasar el material por los tamices de 2 mm y 250 μm , dividiendo así entre fracción gruesa y fina, para luego dejar el residuo en la cámara de secado a 50 °C durante un día. Por último, se realizó el triado de forma manual por medio de lupa binocular.

- El **trabajo de gabinete** abarcó la recopilación y el estudio de toda la bibliografía mencionada en esta memoria, así como la realización de la cartografía geológica general de la zona integrando los datos y observaciones tomados en campo y completándolos con el estudio mediante fotografía aérea a través del programa *Google Earth*.

Las columnas estratigráficas se elaboraron mediante los programas *SedLog v3.1* e *Inkscape v1.0*; mientras que los gráficos y la cartografía se llevaron a cabo por medio de *Inkscape v1.0*. La redacción del presente trabajo se realizó con el procesador de texto *Microsoft Office Word 2007*.

2. CONTEXTO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO

La zona de estudio se encuentra ubicada en el Sistema Ibérico, más concretamente en el límite SE de la Sierra de Albarracín, abarcando la mayor parte del término municipal de Arroyo Cerezo, perteneciente a la comarca del Rincón de Ademuz (provincia de Valencia), y de Veguillas de la Sierra y Alobras, pertenecientes al margen SW de la comarca de la Comunidad de Teruel (provincia de Teruel), (fig. 1).

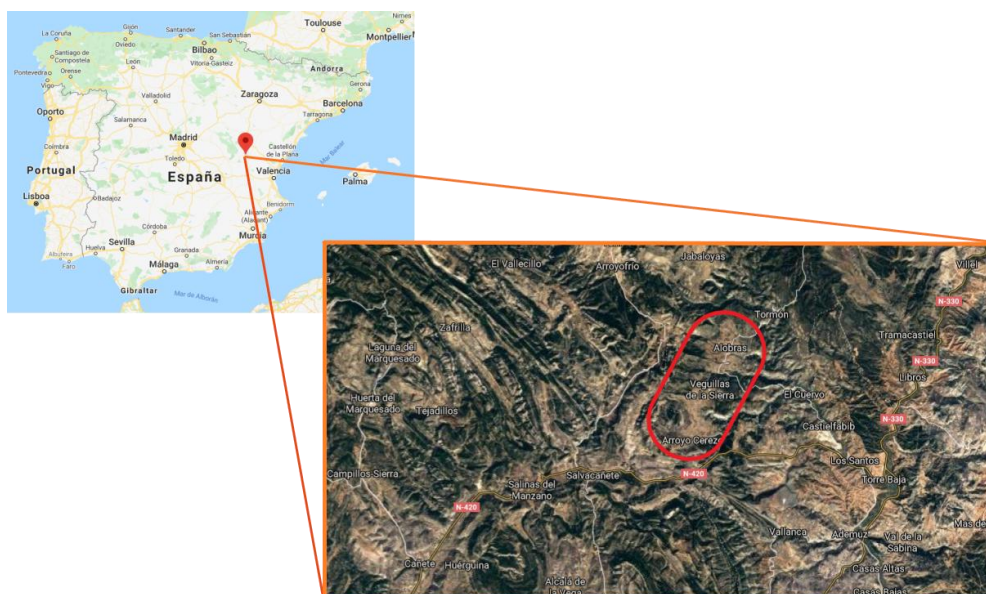


Fig. 1: situación geográfica general y ubicación (círculo rojo) de la zona de estudio (modificada de *Google Earth*).

Geológicamente y dentro del marco temporal que se aborda en el presente trabajo, la zona de estudio se encuentra dentro de la recientemente definida Cuenca de Valencia (Aurell *et al.*, 2019), previamente integrada como subcuenca dentro de la antigua Cuenca Sur-Ibérica (Salas *et al.*, 2001; Mas *et al.*, 2004; Liesa *et al.*, 2019). Esta cuenca presenta una geometría alargada en dirección NW-SE, y su período de existencia comprende desde el Kimmeridgiense terminal hasta el Aptiense superior, abarcando así el rango temporal tradicionalmente asignado a la segunda etapa de *rifting* ibérico mesozoico (Salas *et al.*, 2001; Liesa, *et al.*, 2019).

De esta forma, la evolución de la Cuenca de Valencia viene marcada por los diferentes pulsos tectónicos que tuvieron lugar durante el Jurásico Superior y Cretácico Inferior, los cuales se ven reflejados por la actividad de dos importantes fallas normales: la falla del Alto Tajo-Montes Universales (ATMU), de dirección NW-SE, y la falla de Landete (LT), de dirección NE-SW. Estas fallas constituyeron el margen NW de la cuenca y la dividieron en dos dominios distintos: el dominio o depocentro de Albarracín, al este de la falla ATMU y oeste de la falla LT, y el dominio de Valencia, al este de la falla LT (fig. 2).

Según Aurell *et al.* (2019), durante el Kimmeridgiense terminal tuvo lugar el basculamiento progresivo hacia el SE de la antigua plataforma carbonatada jurásica y la formación o reactivación de estructuras preexistentes en forma de fallas normales de dirección NW-SE y NE-SW, originando el depósito de la Fm. Villar del Arzobispo en bloques compartimentados, lo que dio lugar a importantes variaciones laterales en el espesor de la unidad. A su vez, la Cuenca de Valencia quedó individualizada de la Cuenca del Maestrazgo debido a la elevación de los macizos emergidos de Teruel, Javalambre y Valencia (fig. 2). Durante la mayor parte del Cretácico Inferior, la sedimentación en la cuenca permaneció inactiva, y no es hasta la transgresión marina del Aptiense cuando se registran los primeros depósitos cretácicos, los cuales alcanzan solamente el dominio de Valencia, permaneciendo el dominio de Albarracín como bloque elevado por la actuación de las fallas ATMU y LT.

La zona de estudio se encuentra comprendida dentro del dominio de Albarracín, de forma que afloran materiales mesozoicos pertenecientes al Jurásico Superior marino (Fms. Sot de Chera, Loriguilla y Jabaloyas), la Fm. Villar del Arzobispo y parte del Cretácico de la etapa *post-rift*, que incluye al Gr. Utrillas y a las Fms. Aras de Alpuente, Chera y Alatoz (Rubio *et al.*, 1978; Aznar *et al.*, 1983; Meléndez, 1983; Aurell *et al.*, 2019; anexo 1).

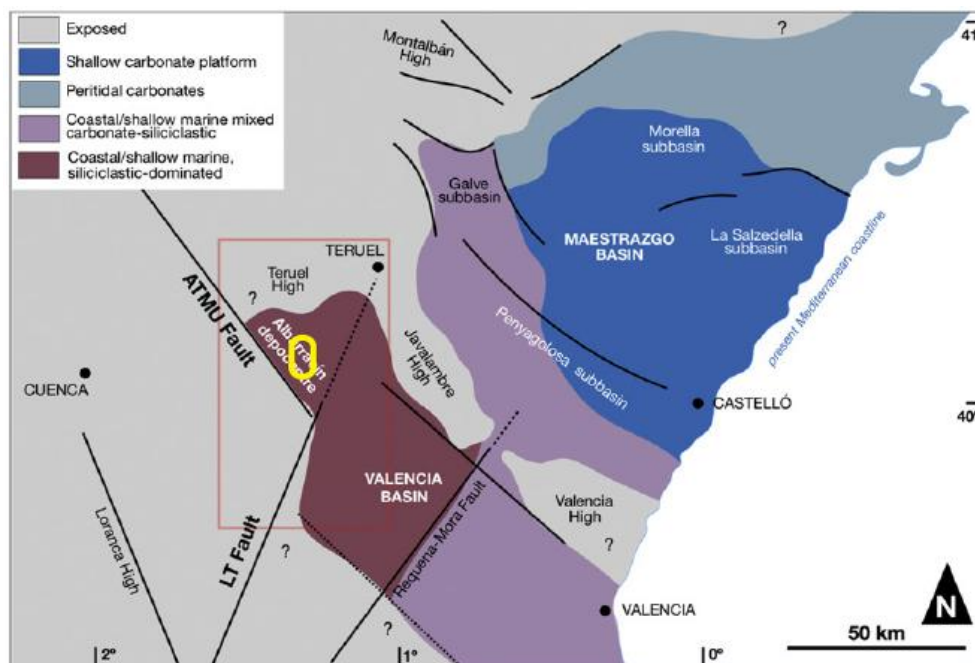


Fig. 2: esquema tecto-sedimentario de la Cuenca de Valencia durante el depósito de la Fm. Villar del Arzobispo en relación con los depósitos de la Cuenca del Maestrazgo. La situación de la zona de estudio viene indicada por el círculo amarillo. Imagen modificada de Aurell *et al.* (2019).

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Caracterización estratigrafía y sedimentológica

Con el objetivo de realizar una descripción de la Fm. Villar del Arzobispo en el sector de estudio, se han realizado un total de dos columnas estratigráficas: la columna AC (anexo 2) y la columna AI (anexo 3); así como una cartografía geológica general (anexo 1). Además, se han tomado muestras del nivel calcáreo AC-VS para su estudio por medio de láminas delgadas.

Cabe destacar que las condiciones de afloramiento en esta zona no son las idóneas, ya que debido al carácter blando de la unidad, ha sido ampliamente aprovechada para la elaboración de parcelas agrarias, o bien se encuentra cubierta por vegetación. Esto se hace evidente sobre todo en la parte sur de la zona, donde la columna AC ha tenido que ser completada con información de afloramientos cercanos aislados, y los yacimientos paleontológicos han tenido que ser extrapolados a dicha columna ante la imposibilidad de levantar secciones en los puntos exactos.

3.1.1. Columna AC

Las coordenadas UTM ETRS89 Huso 30 de la base de la columna son X: 635654.87, Y: 4443336.78, y las del techo X: 634533.49, Y: 4443661.01; siendo atravesada por la carretera CV-483 a un kilómetro al NE aproximadamente del pueblo de Arroyo Cerezo (anexo 1).

Esta columna abarca 71,8 m, correspondientes con la potencia total de la Fm. Villar del Arzobispo, aunque la naturaleza discordante de la formación, tanto en su límite inferior como en el superior (anexo 1), hace que su espesor varíe de un lugar a otro. De esta manera, la unidad se dispone de forma

neta y discordante (ver apartado de discusión) sobre los últimos niveles de calizas bioclásticas y oncolíticas de la Fm. Jabaloyas (Aurell y Bádenas, 2004; Bádenas *et al.*, 2008), estando constituida por los siguientes tramos:

- Tramo 1: integrado por 9 m de lutitas rojas (y en menor medida grises y ocre) con fragmentos de madera ferruginizados, dentro del cual se incluye el antiguo yacimiento de “El Cebadal”.
- Tramo 2: está compuesto por 9,25 m de lutitas predominantemente grises, con intercalaciones centimétricas a decimétricas de areniscas tabulares ocre de grano medio con laminación horizontal.
- Tramo 3: 25,55 m de lutitas ocre (y minoritariamente rojizas o grises) con intercalaciones centimétricas a decimétricas de areniscas ocre de grano fino a medio, en estratos tabulares y conformando generalmente sets grano- y estrato-crecientes. Estas areniscas presentan laminación horizontal y *ripples* unidireccionales, y localmente estratificación cruzada planar y galerías verticales u horizontales (tipo *Thalassinoides*) a techo de los sets (fig. 4a-b).
- Tramo 4: 3,84 m de calizas bioclásticas grises en estratos decimétricos con juntas irregulares, presentando abundantes fósiles de bivalvos (especialmente ostreídos), gasterópodos, foraminíferos bentónicos, algas dasycladaceas y, ocasionalmente, fragmentos de equinodermos (figs. 3 y 4d-e). Entre los foraminíferos presentes destaca la presencia de lituólidos (*Alveosepta jacardi*, *Redmondellina powersi*, *Pseudocyclamina sp.*, *Redmondoides lugeoni* y *Ammobaculites sp.*), involutínidos (*Trocholina sp.*) y miliólidos (fig. 4). Estas calizas presentan una textura de tipo *packestone-grainstone* (y ocasionalmente *wackestone*) con mala clasificación, incluyendo, además de bioclastos, niveles con abundantes intraclastos (tanto detríticos como calcáreos) ooides, peloides, agregados de granos con envueltas micríticas y granos de cuarzo (figs. 3 y 4e). Estos últimos se presentan en proporciones variables, siendo generalmente más frecuentes a techo de los estratos, donde pueden llegar a ser el componente mayoritario y constituir pequeños interestratos de areniscas calcáreas o calizas arenosas con bioclastos y *Thalassinodes* (fig. 4d).

Este tramo ha sido individualizado y definido en el presente trabajo como “**nivel AC-VS**” debido a su importancia, tanto en el aspecto cronoestratigráfico, como a nivel de correlación en el sector de Arroyo Cerezo y Veguillas de la Sierra (anexo 1). En ese sentido, se ha decidido dividir a la Fm. Villar del Arzobispo en dicho sector en una parte inferior, que incluye desde la base de la formación hasta el nivel AC-VS, y en una parte superior, situada por encima de este nivel.

Hay que destacar que, en la mayor parte del sector Arroyo Cerezo-Veguillas de la Sierra, aparece un pequeño subnivel de unos 30 cm de espesor a base del tramo, constituido por calizas blancas micríticas de textura *mudstone*, que presenta laminación algal y porosidad fenestral (fig. 3h-i y 4c). Sin embargo, este desaparece hacia el margen sur de la zona de estudio, donde la base del tramo pasa a estar integrado exclusivamente por las calizas bioclásticas típicas del nivel AC-VS.

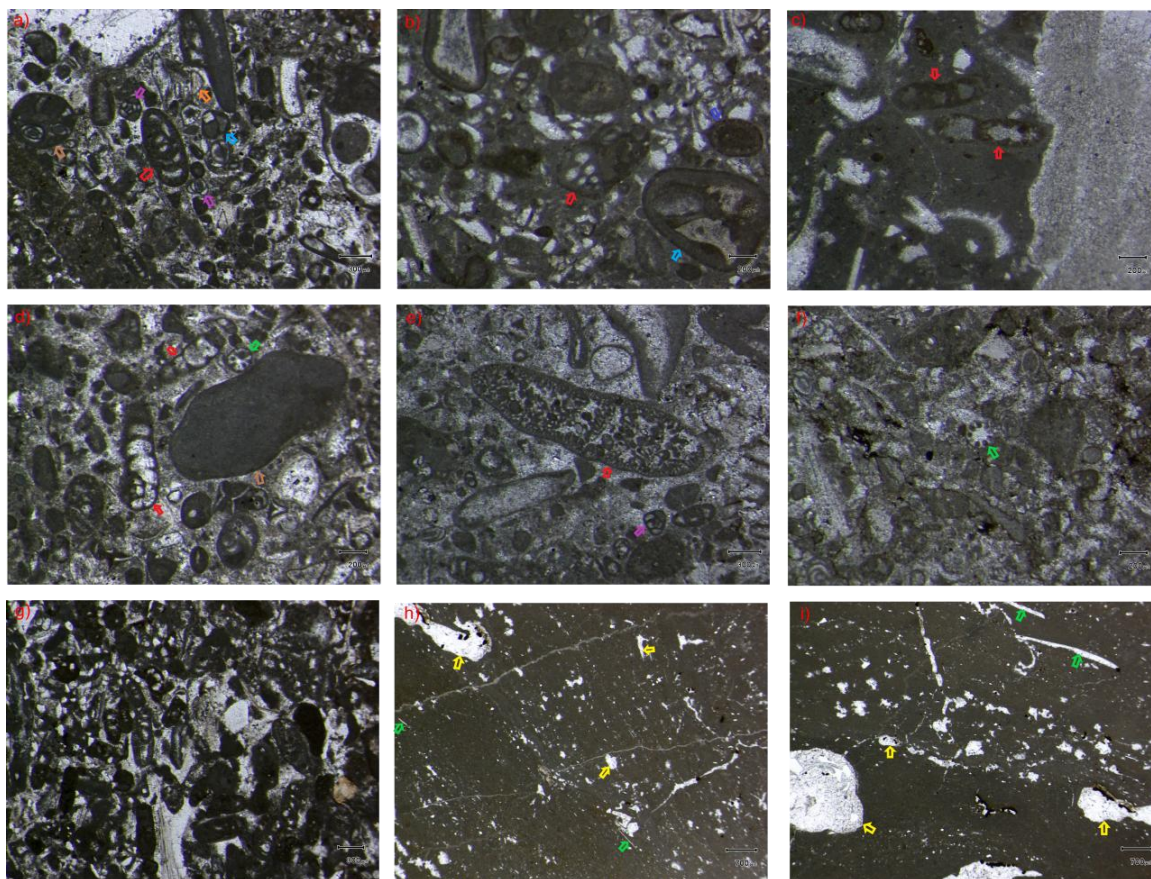


Fig. 3: imágenes a microscopio petrográfico del nivel AC-VS: **a) muestra VS-4:** *packestone-grainstone* bioclástico y peloidal con sección transversal de *Alveosepta jacardi* (flecha roja), miliólidos (flechas moradas), *Trocholina* sp. (flecha naranja), agregados con envuelta micrítica (flecha azul) e intraclasto (flecha marrón); **b) muestra VS-1:** *packestone* con sección axial de *Redmondoides lugeoni* (flecha roja), oolide (flecha azul oscuro), agregado (flecha azul claro) y abundantes granos de cuarzo; **c) muestra ACP-1:** *wackestone* mostrando dos secciones transversales de *Pseudocyclamina* sp. (flechas rojas); **d) muestra VS-4:** *grainstone* con secciones de *Ammobaculites* sp. (flechas rojas), *Acicularia* sp. (flecha verde) e intraclasto micrítico (flecha marrón); **e) muestra VS-3:** *grainstone* con sección transversal de *Redmondellina powersi* (flecha roja) y miliólidos (flecha morada); **f) muestra VS-2:** *grainstone* con abundantes peloides, miliólidos y sección de *Acicularia* sp. (flecha verde); **g) muestra AC-1:** *grainstone* con abundantes secciones de *Alveosepta jacardi* y granos de cuarzo; **h)-i) muestra AC-2:** secciones del subnivel de calizas micríticas de textura *mudstone* situadas a base de AC-VS mostrando porosidad fenestral (flechas amarillas) y filamentos algales (flechas verdes), ambos orientados con la laminación.

- **Tramo 5:** 24,8 m de lutitas ocreas (y minoritariamente grises o rojizas) a base y predominantemente rojas en el resto del tramo. Este último tramo comprende la parte superior de la formación, y es el que presenta una mayor cantidad de fósiles de vertebrados, situándose los tres yacimientos de “La Casilla” y el de “El Pinillo” en la parte basal; y otro hallazgo de esquilas aisladas hacia techo, cerca del límite superior de la unidad con las primeras arenas caoliníferas blancas del Gr. Utrillas.

Los nuevos yacimientos de “La Casilla” y “El Pinillo” hallados en el presente trabajo se sitúan dentro de las lutitas, predominantemente ocreas, que caracterizan el inicio de la parte superior de la Fm. Villar del Arzobispo. Se ha decidido dividir la zona de “La Casilla” en tres yacimientos distintos, debido a que los fósiles proceden de diferentes niveles estratigráficos y, por tanto,

presentan diferencias en su conservación. De esta forma, el yacimiento “La Casilla-1” se sitúa en una capa inferior de lutitas ligeramente rojizas, por lo que los huesos adquieren tonos anaranjados; el yacimiento “La Casilla-2” lo hace dentro de un nivel intermedio de lutitas grises, adquiriendo los restos tonos grisáceos, y el yacimiento “La Casilla-3” se encuentra en una capa superior de lutitas ocre, por lo que los restos presentan tonos amarillentos, al igual que los restos del yacimiento “El Pinillo”. Dentro de estos yacimientos, además de las abundantes esquirlas de hueso, también es frecuente la aparición de bloques aislados de areniscas blancas o amarillentas con fragmentos vegetales carbonosos (fig. 4f), así como de fragmentos centimétricos de madera silicificada, que contrastan con los restos de madera ferruginizada que aparecen en las lutitas rojas de la zona superior del tramo (fig. 4g).



Fig. 4: fotografías de campo de la columna AC: **a)-b): tramo 3:** **a)** areniscas en estratos tabulares situadas entre las lutitas ocre, mostrando dos sets de tendencia grano- y estratocrecientes. El nº1 presenta laminación horizontal a base y estratificación cruzada planar a techo, y el nº2 laminación horizontal, tanto a base como a techo (barra de escala: 40 cm); **b)** imagen del techo de uno de los estratos de areniscas tabulares mostrando

galerías horizontales de tipo *Thalassinoides*; **c)-e): tramo 4: c)** afloramiento de la parte inferior del nivel AC-VS, mostrando el subnivel de calizas blancas micríticas en la base (línea blanca) y las calizas bioclásticas ocre o grises características de dicho nivel (línea amarilla), (barra de escala: 40 cm); **d)** imagen del techo de un estrato de las calizas arenosas bioclásticas mostrando *Thalassinoides*; **e)** muestra de las calizas bioclásticas con intraclastos de arenisca (flechas rojas); **f)-g): tramo 5: f)** imagen de un fragmento de arenisca procedente del yacimiento “La Casilla-1” mostrando fragmentos vegetales carbonosos; **g)** muestra de madera fósil silicificada procedente del yacimiento “La Casilla-1” (a la izquierda) y de madera ferruginizada procedente de las lutitas rojas del techo de la formación (a la derecha), (longitud del fragmento de la derecha: 6 cm).

3.1.2. Columna A1

Las coordenadas UTM ETRS89 Huso 30 de la base de la columna son X: 637301.49, Y: 4449290.24, y las del techo X: 637118.31, Y: 4449565.86; encontrándose ubicada inmediatamente al oeste de la carretera VF-TE-13, a unos 50 m al norte del pueblo de Alobras (anexo 1).

Esta columna abarca 46,6 m de potencia, correspondientes con parte de la Fm. Villar del Arzobispo, ya que el límite superior de la unidad con el Gr. Utrillas no se encuentra representado en este sector. La unidad se apoya de forma neta y ligeramente discordante sobre los últimos niveles de la Fm. Jabaloyas, al igual que en el sector de Arroyo Cerezo-Veguillas de la Sierra, pero presenta marcadas diferencias en cuanto a su estratigrafía, no habiéndose detectado el nivel AC-VS ni ningún estrato calcáreo, al menos en el área estudiada, por lo que no se ha conseguido establecer una correlación estratigráfica fiable entre la parte norte de la zona de estudio y la parte sur.

De esta forma, la columna presenta los siguientes tramos:

- Tramo 1: constituido por 6,4 m de lutitas, inicialmente rojas, que pasan hacia techo a lutitas ocre (y minoritariamente grises).
- Tramo 2: 5,44 m de lutitas grises alternantes con areniscas ocre de grano fino a medio; estas últimas, presentando sets decimétricos grano- y estrato-crecientes con laminación horizontal y, localmente, estratificación cruzada planar (fig. 5c).
- Tramo 3: 17,97 m de lutitas rojas (fig. 5a), presentando fragmentos centimétricos de madera ferruginizada e intercalaciones de areniscas rojas de grano fino a medio en sets decimétricos, generalmente grano- y estrato-crecientes y con laminación horizontal a base y estratificación cruzada en surco a techo. Estas areniscas presentan un elevado grado de bioturbación a techo de los estratos, lo que les confiere un aspecto moteado con colores rojizos y grisáceos (fig. 5b).
- Tramo 4: 3,63 m de lutitas grises, presentando ocasionalmente restos vegetales carbonosos de tamaño milimétrico, y areniscas tabulares ocre, de grano fino a medio y conformando sets de espesor centimétrico a decimétrico de evolución grano- y estrato-creciente. Estas areniscas suelen contener laminación horizontal a base y estratificación cruzada en surco a techo, pudiendo estar intercaladas ambas con niveles centimétricos de *ripples* unidireccionales (fig. 5d). Además, cuando estas areniscas se sitúan sobre algún nivel o interestrato de lutitas grises, suelen presentar en su base abundantes icnofósiles en forma de contramoldes, como galerías fósiles horizontales y, ocasionalmente, huellas de dinosaurio, como es el caso de la icnita “Al-1” (fig. 5e).

- Tramo 5: 5,4 m de areniscas grises u ocreas con intercalaciones locales de lutitas grises. Las areniscas son de grano medio a grueso, presentándose en estratos tabulares de espesor decimétrico con estratificación cruzada planar de gran escala y cruzada de bajo ángulo (fig. 5f). La estratificación cruzada presenta paleocorrientes en direcciones variables, generalmente hacia el NW y NE.
- Tramo 6: su parte inferior está compuesta por 3,25 m de lutitas rojas o grises, y su parte superior comprende unos 4,5 m de microconglomerados y areniscas grises, de grano grueso a medio y en estratos masivos de potencia decimétrica a métrica.

La base de la parte superior es erosiva, presentándose en geometrías canaliformes y estando constituida por un pequeño nivel de unos 20 cm de conglomerados grano-sostenidos, mal clasificados, con intraclastos arcillosos o de arenisca, sub-redondeados y de tamaño milimétrico a centimétrico, pudiendo contener también fragmentos de madera ferruginizada de tamaño centimétrico (fig. 5h-i). Estos conglomerados basales pasan verticalmente a microconglomerados de cantos cuarcíticos o areniscas de grano grueso, ocasionalmente con fragmentos centimétricos de madera ferruginizada (fig. 5j), que presentan estratificación cruzada en surco y numerosas superficies de reactivación erosivas y de geometrías canaliformes (fig. 5g-h). Así mismo, estos depósitos pasan verticalmente a areniscas de grano grueso con estratificación cruzada planar de gran escala y bases canaliformes (fig. 5k), que a su vez, evolucionan a areniscas de grano medio en estratos tabulares y de potencias decimétricas con estratificación cruzada planar de pequeña escala.

De esta forma, los cuerpos de microconglomerados y areniscas característicos de la parte superior del tramo presentan una evolución vertical general grano- y estrato-decreciente.

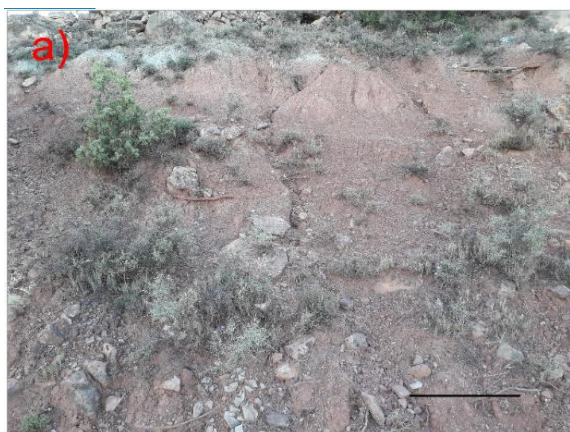




Fig. 5: fotografías de campo de la columna Al: **a)-b) tramo 3:** **a)** imagen de las lutitas rojas (barra de escala: 60 cm); **b)** techo de un estrato de areniscas de grano fino mostrando una intensa bioturbación, lo que les da un aspecto moteado en colores grises y rojizos; **c)** set grano-creciente de areniscas con laminación paralela y lutitas

grises del tramo 2 (barra de escala: 1 m); **d-e) tramo 4: d)** areniscas con laminación paralela o *ripples* a base y con estratificación cruzada en surco a techo, alternando con lutitas grises; **e)** base de un estrato de areniscas con la icnita Al-1 y galerías fósiles horizontales; **f)** nivel de areniscas tabulares de grano medio con estratificación cruzada de bajo ángulo, pertenecientes al tramo 5; **g-k) tramo 6: g)** areniscas de grano grueso en sets de espesor métrico con bases canaliformes (barra de escala: 60 cm); **h)** microconglomerados con geometrías canaliformes y nivel conglomerático a base; **i)** imagen en detalle del nivel conglomerático de la base del tramo 6 mostrando los cantos subredondeados de arenisca o lutita (barra de escala: 10 cm); **j)** fragmento de madera ferruginizada englobada en las areniscas de grano grueso; **k)** areniscas de grano grueso con estratificación cruzada planar (barra de escala: 30 cm).

3.2. Paleontología

Los hallazgos paleontológicos de vertebrados en la zona de estudio han sido relativamente abundantes debido a la elevada concentración de restos óseos en los tres yacimientos procedentes de “La Casilla” (anexo 1), aunque el uso del terreno en esta zona como campos de cultivo, sometidos a numerosas etapas de labranza, ha provocado que los restos fósiles aparezcan en su mayoría fragmentados en superficie, hasta el punto de no ser identificables. Pese a ello, han aparecido algunas piezas de interés que no han sido excesivamente afectadas por estos procesos y, por tanto, sí se han conseguido identificar, y pasarán a describirse a continuación.

Además de estos restos directos de dinosaurios en los yacimientos de “La Casilla”, también se ha producido el hallazgo del centro vertebral PIN-1 en el yacimiento de “El Pinillo” y del bloque con icnitas Al-1 en el entorno de Alobras (figs. 5e, 11 y anexo 1), así como de elementos óseos aislados a techo de la columna AC (anexo 2) y de una escama de osteíctio actinopterigio en el yacimiento “La Casilla-1” que se describe a continuación:

SUPERCLASE: Osteichthyes (Huxley, 1880)

CLASE: Actinopterygii (Klein, 1885)

Descripción: se trata de un fragmento de escama ganoidea, de morfología pseudo-triangular y de textura lisa, presentando un borde lateral aplanado y otro ligeramente convexo en la zona cercana al vértice que se vuelve plano y paralelo al otro hacia la parte fragmentada (fig. 6).



Fig. 6: escama de osteíctio actinopterigio hallada en el yacimiento “La Casilla-1” (barra de escala: 6 mm).

Por otro lado, también se ha inspeccionado la zona del hallazgo descrito por de Lapparent (1966), la cual ha sido localizada y denominada en el presente trabajo como yacimiento de “El Cebadal” (anexos 1 y 2), aunque no se ha conseguido encontrar ningún resto paleontológico en ella.

Así pues, pasan a describirse a continuación los elementos óseos de mayor interés hallados en la zona:

SUPERORDEN: Dinosauria (Owen, 1842)

ORDEN: Saurischia (Seeley, 1888)

SUBORDEN: Sauropodomorpha (von Huene, 1932)

INFRAORDEN: Sauropoda (Marsh, 1878)

(sin rango): Eusauropoda (Raath, 1972)

(sin rango): Macronaria? (Wilson y Sereno, 1998)

(sin rango): Titanosauriformes? (Salgado, *et al.*, 1997)

Sigla: PIN-1

Localización: yacimiento “El Pinillo” (parte superior de la Fm. Villar del Arzobispo).

Descripción: se trata de un centro vertebral perteneciente a una vértebra caudal media proximal.

En vista lateral, el centro es rectangular, con la parte dorsal aplanada y la parte ventral cóncava, y carece de crestas longitudinales, forámenes y pleurocelos. PIN-1 presenta una longitud anteroposterior de 14,6 cm. Los procesos transversos son de tamaño reducido y se encuentran incompletos por acción de la erosión. Están situados hacia la mitad dorsal del centro, presentan una geometría ovalada en sección (comprimidos en dirección dorsoventral), están proyectados hacia la parte posterior y articulan en la parte media-posterior del centro (fig. 7f-g).

La cara articular anterior es ovalada y comprimida dorsoventralmente, con 15,2 cm de anchura (a) y 12,4 cm de altura (h), presentando una relación a/h de 1,226. Así mismo, la cara posterior posee una altura de 12,3 cm, pero se encuentra erosionada en sus bordes laterales, por lo que no ha sido posible medir la anchura. De esta forma, el índice longitud anteroposterior (l)/altura de la cara posterior (hp) sería de 1,187. En cuanto a su morfología en el eje anteroposterior, ambas caras articulares son cóncavas, aunque en la anterior esta geometría es mucho menos acusada que en la posterior, poseyendo una morfología plani-cóncava la primera y cóncava la segunda (fig. 7a y c). De esta forma, el centro vertebral se clasificaría como ligeramente anficélico.

En cuanto a la vista dorsal, el centro presenta una morfología cuadrangular, con una ligera concavidad en ambos laterales. Además, todavía conserva parte de los pedicelos, los cuales están desplazados hacia la parte anterior y comprenden unos 6,5 cm de la longitud total del centro. Entre ambos pedicelos, se sitúa el canal neural, de geometría cóncava y con una anchura de 2,3 cm (fig. 7b).

La parte ventral del centro también presenta una morfología cuadrangular con una ligera concavidad en ambos laterales, y conserva tres de las cuatro facetas para los arcos hemales, estando ausente por erosión la anterior izquierda. Las facetas posteriores presentan mayores dimensiones que las

anteriores, y la separación entre ambos pares es de 3,1 cm para las posteriores y de 3,6 cm para las anteriores, conformando dos pequeñas depresiones que en ningún caso se extienden hacia la zona central, por lo que no desembocan en la formación de un surco ventral. De esta forma, la zona ventral se presenta plana en longitud lateromedial exceptuando los márgenes anterior y posterior (fig. 7d).

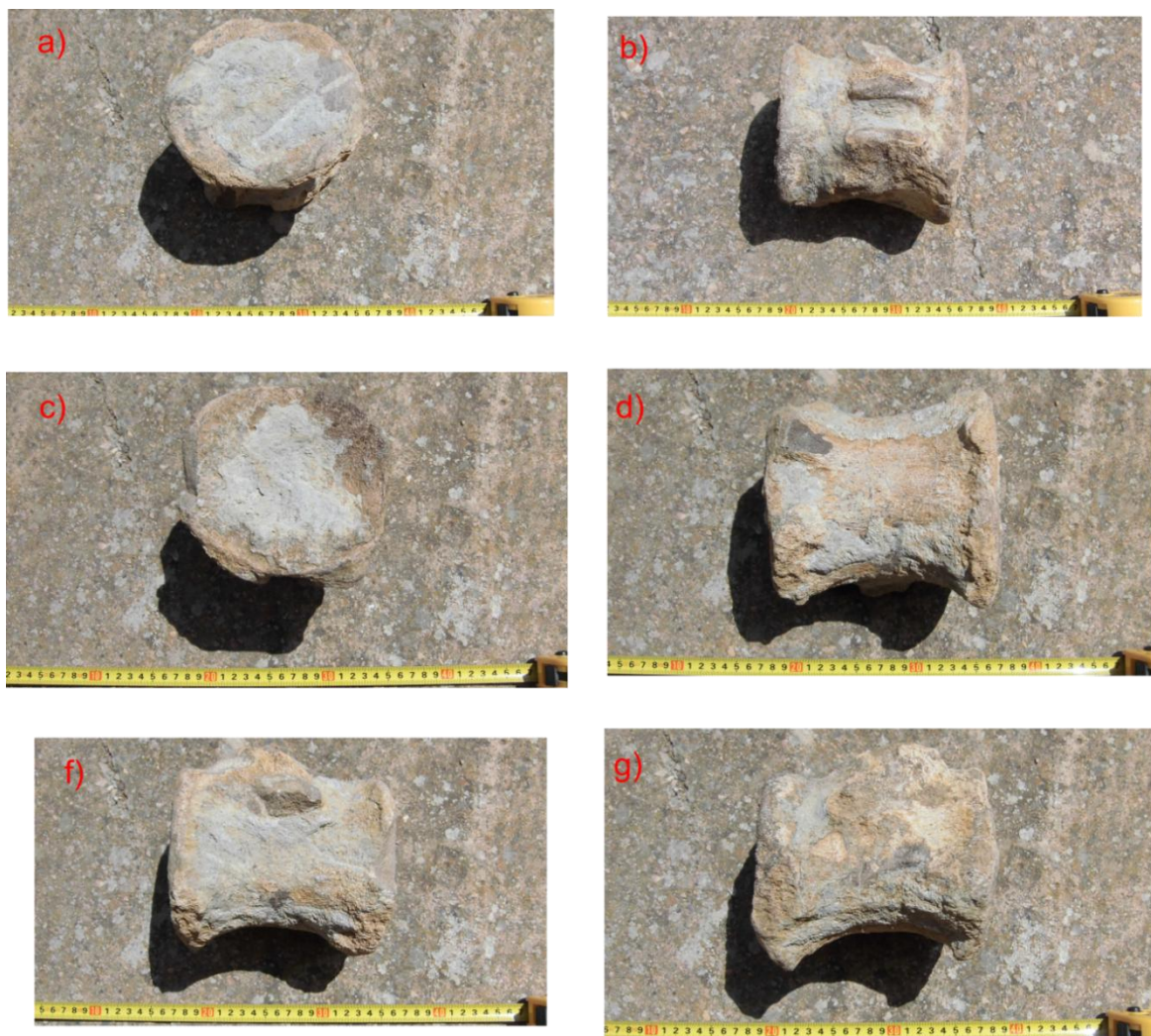


Fig. 7: centro vertebral PIN-1 en **a)** vista anterior; **b)** vista dorsal; **c)** vista posterior; **d)** vista ventral; **e)** vista lateral izquierda; **g)** vista lateral derecha.

SUPERORDEN: Dinosauria (Owen, 1842)

ORDEN: Saurischia (Seeley, 1888)

SUBORDEN: Sauropodomorpha (von Huene, 1932)

INFRAORDEN: Sauropoda (Marsh, 1878)

(sin rango): Eusauropoda (Raath, 1972)

(sin rango): Macronaria? (Wilson y Sereno, 1998)

(sin rango): Titanosauriformes? (Salgado, *et al.*, 1997)

Sigla: CAS3-1

Localización: yacimiento “La Casilla-3” (parte superior de la Fm. Villar del Arzobispo).

Descripción: CAS3-1 se trata de un centro vertebral perteneciente a una vértebra caudal media proximal, que comparte morfología con PIN-1. Sin embargo, CAS3-1 solamente ha podido ser descrita y clasificada (ver apartado de discusión) en base a las fotografías y medidas proporcionadas por Royo-Torres *et al.* (2008, fig. 8).

En vista lateral, el centro presenta una morfología rectangular que pasa a cóncava en la zona ventral, presentando vestigios de los procesos transversos reducidos, situados en la parte dorsal y en la media-posterior del centro, y orientados ligeramente hacia la parte posterior; presentando una morfología subcircular en sección (fig. 8e). Estos caracteres son compartidos con PIN-1, al igual que la ausencia de crestas longitudinales y pleurocelos a lo largo del centro; sin embargo, la longitud anteroposterior de CAS3-1 es ligeramente menor, de 14 cm (Royo-Torres *et al.*, 2008).

La cara articular anterior es plana, con una ligera protuberancia en el centro (Royo-Torres *et al.*, 2008), y comprimida dorsoventralmente, dándole una geometría ovalada en sección (fig. 8d). Para esta cara articular, se ha calculado un índice a/h de 1,214 en base a las fotografías; mientras que la relación l/hp ha sido estimada en 1,260, lo que se asemeja a las proporciones medidas para la misma cara en PIN-1. Por otro lado, la cara posterior es ligeramente cóncava en su parte central y plana en sus bordes, con una forma ovalada en sección similar a la de la cara anterior, aunque con el lateral izquierdo fragmentado (fig. 8c), de forma que no se ha podido calcular la relación a/h.

En vista dorsal, el centro es ligeramente rectangular, con los bordes laterales cóncavos. Al igual que PIN-1, conserva parte de los pedicelos, que están desplazados hacia la parte anterior, y presenta un canal neural cóncavo (fig. 8a).

Por último, en vista ventral, el centro también presenta una morfología ligeramente rectangular, con las cuatro facetas para los arcos hemales preservadas. Estas últimas presentan un mayor desarrollo en su parte posterior, y se encuentran más separadas en su parte anterior, presentando una pequeña depresión en el espacio entre facetas que no llega a constituir un surco ventral, siendo la parte central aplanada latero-medialmente (fig. 8b).

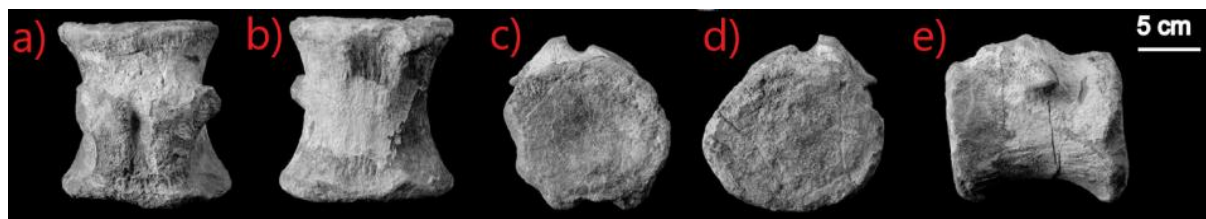


Fig. 8: centro vertebral CAS3-1 en **a)** vista dorsal; **b)** vista ventral; **c)** vista posterior; **d)** vista anterior; **e)** vista lateral izquierda. Modificada de Royo-Torres *et al.* (2008).

Sigla: CAS3-2

Localización: yacimiento “La Casilla-3” (parte superior de la Fm. Villar del Arzobispo).

Descripción: se ha identificado como un elemento del carpo, atribuido al mismo ejemplar de dinosaurio que CAS3-1 por la cercanía de aparición de ambos fósiles.

Tanto en vista proximal, como en vista distal, CAS3-2 presenta una geometría ovalada, con una longitud en su eje mayor de 12,8 cm y otra en su eje menor de 8,4 cm. Sin embargo, en vista proximal, el elemento posee una ligera concavidad, acentuada en la parte media con la presencia de tres depresiones sub-circulares de 2 cm de diámetro aproximadamente (fig. 9a); mientras que en vista distal, presenta una convexidad con el inicio de elevaciones en uno de los márgenes que no se han conservado en su totalidad debido a la erosión (fig. 9b).

En vista lateral, presenta 2,5 cm de espesor, dando lugar a una morfología aplanada próximo-distalmente (fig. 9c).



Fig. 9: elemento carpal CAS3-2 en **a)** vista proximal; **b)** vista distal; **c)** vista lateral. Barras de escala: 6 cm.

Sigla: CAS3-3

Localización: yacimiento “La Casilla-3” (parte superior de la Fm. Villar del Arzobispo).

Descripción: al igual que CAS3-2, se ha identificado como un elemento del carpo, atribuido también al mismo ejemplar de dinosaurio que CAS3-1 por la cercanía de aparición de ambos fósiles.

Este elemento presenta una morfología ovalada, tanto en vista proximal como distal, siendo la longitud de su eje mayor de 13,5 cm y la de su eje menor de 9,8 cm. Además, en vista distal presenta una ligera concavidad, menos acusada que en CAS3-2 (fig. 10a), mientras que en vista distal posee una convexidad más pronunciada, con un surco de 7,5 cm de longitud y 2,5 cm de anchura que recorre el carpo por uno de los extremos y en dirección del eje de menor longitud (fig. 10b).

En vista lateral posee un espesor máximo de 4,6 cm en la parte central, disminuyendo progresivamente hacia los bordes del elemento (fig. 10c).



Fig. 10: elemento carpal CAS3-3 en **a)** vista proximal; **b)** vista distal; **c)** vista lateral. Barras de escala: 4 cm.

SUPERORDEN: Dinosauria (Owen, 1842)

ORDEN: Ornithischia? (Seeley, 1888)

SUBORDEN: Ornithopoda? (Marsh, 1881)

Sigla: Al-1

Localización: flanco sur del cerro Sabejillo (anexo 1), Fm. Villar del Arzobispo.

Descripción: se trata de un bloque caído de areniscas de grano fino con *ripples* unidireccionales, laminación horizontal y bioturbación, el cual conserva restos de dos icnitas de dinosaurio en forma de hiporrelieve convexo, que sobresalen unos 3,5 cm en relación con la base del estrato al que pertenecen (fig. 11).

La icnita situada a la izquierda del bloque en vista de la fig. 11 es la mejor conservada, presentando una morfología tridáctila con un dedo central bien representado y dos dedos laterales de menor longitud y grado de detalle. Esta icnita mide 21 cm de largo y 19 cm de ancho, habiéndose calculado una altura de la cadera de 100,8 cm por el método de Thulborn (1990). Esta icnita se compone de un talón redondeado de 7 cm de anchura máxima del que nace un dedo central, aparentemente compuesto por una sola almohadilla, con una anchura máxima de 7 cm y mínima de 5,2 cm, que termina en una pequeña marca ungueal redondeada. Las impresiones de los dedos laterales se encuentran incompletas, de manera que no se observa con claridad su zona de unión con la marca del talón, aunque su zona distal sí conserva un mayor grado de detalle. De esta forma, se observa que el dedo lateral izquierdo posee una terminación ligeramente puntiaguda, posiblemente atribuible con una marca ungueal; mientras que el dedo lateral derecho está conformado por tres pequeñas protuberancias de unos 4 cm de anchura que, probablemente, constituyan las marcas de tres almohadillas. El ángulo interdigital entre el dedo central y el derecho es de 53°, mientras que entre el central y el izquierdo es de 42°.

La icnita situada a la derecha del bloque, por el contrario, solamente está conformada por la marca de un dedo aislado debido a la acción de los procesos de erosión. Este dedo presenta una dirección longitudinal idéntica al dedo central de la icnita principal, pero se encuentra orientado en sentido contrario. Sin embargo, esta icnita presenta un mayor grado de detalle que la anteriormente descrita, ya que conserva marcas de tres almohadillas, de unos 5 cm de anchura, y una falange ungueal. La longitud total desde la base de la almohadilla 1 hasta la marca ungueal es de 16 cm.

Por último, cabe destacar la presencia de una protuberancia en la esquina inferior derecha del bloque (fig. 11), que posiblemente forme parte de otra icnita perdida por fragmentación.



Fig. 11: imagen del bloque con icnitas Al-1 (izquierda) y esquema mostrando los diferentes elementos representados (T: talón; A: almohadilla; U: marca ungueal), (derecha).

4. DISCUSIÓN

4.1. Interpretación paleoambiental

La Fm. Villar del Arzobispo presenta distintos tipos de facies en la zona de estudio. Dentro de ella, predominan con claridad los potentes sedimentos lutíticos con intercalaciones de estratos poco potentes de areniscas en sets grano- y estrato-crecientes, presentando laminación paralela y ripples unidireccionales a base y, ocasionalmente, estratificación cruzada a techo (figs. 4a-b y 5a-e). Los depósitos lutíticos han sido interpretados como sedimentos decantados en una amplia llanura de inundación fluvial, en la cual dominarían los procesos de desecación y oxidación originando los colores rojizos típicos de esta facies; aunque también existirían zonas sometidas a una menor exposición subaérea, dando lugar a las lutitas ocre, e incluso zonas lo suficientemente encharcadas como para preservar altos contenidos en materia orgánica, originando las lutitas grises. Esta interpretación viene respaldada por la aparición de restos vegetales ferruginizados en las zonas de lutitas rojas, silicificados en las ocre y carbonosos en las grises (fig. 4g); así como por la aparición de yacimientos de restos óseos e icnitas de dinosaurios (fig. 5e) y por la total ausencia de fósiles marinos, lo que indicaría un origen predominantemente continental. De esta forma, las intercalaciones de areniscas supondrían eventos de mayor energía, probablemente depósitos de desbordamiento de canal fluvial que alcanzan la llanura de inundación, pasando de un flujo laminar bajo poca lámina de agua, que daría lugar a areniscas con laminación horizontal, a un flujo turbulento y de mayor energía, dando lugar a areniscas con estratificación cruzada. La interpretación de esta facies es compatible con las propuestas por Val *et al.* (2018) y Campos-Soto *et al.* (2016; 2019) para depósitos coetáneos de características similares.

Por otro lado, se han observado, a techo de la columna Al (anexo 3), potentes sets de microconglomerados y areniscas de naturaleza grano- y estrato-decreciente, con estratificación cruzada de gran escala y bases erosivas y canaliformes (fig. 5g-k). Estos niveles se disponen de forma erosiva sobre las lutitas rojas y grises de la llanura de inundación, y presentan en su base intraclastos de arenisca y lutita (fig. 5i), que son interpretados como producto de la erosión de esta zona; así como fragmentos de madera ferruginizada (fig. 5j). Estos aspectos, sumados a la total ausencia de fósiles marinos, sugieren la interpretación de esta facies como producto de la erosión y colmatación

originadas por la acción de canales fluviales que surcarían la llanura de inundación; tal y como sugieren Luque *et al.* (2005); Val *et al.* (2018); y Campos-Soto *et al.* (2016; 2019) para la misma formación o equivalentes en zonas cercanas.

También en la parte superior de la columna Al (anexo 3), y asociados a los depósitos lutíticos de llanura de inundación, aparecen unos potentes niveles de areniscas en estratos tabulares con paleocorrientes en direcciones variables y estratificaciones cruzadas de gran escala y de bajo ángulo (fig. 5f). Niveles de naturaleza similar han sido interpretados, tanto como generados por dunas eólicas (Campos-Soto *et al.*, 2016; 2019), como por depósitos de playa (Santisteban y Santos-Cubedo, 2010; Val *et al.*, 2018). En el caso que nos ocupa, las areniscas no contienen restos de fauna marina, pero presentan tamaños de grano que van desde el medio hasta el grueso, por lo que se descarta que hayan podido ser transportados por la actividad eólica. De esta forma, se atribuyen así a depósitos de playa, en los que las areniscas con estratificación cruzada de gran escala pertenecerían a los términos submareales o de “*shoreface*”, y las que presentan estratificación cruzada de bajo ángulo se corresponderían con los dominios intermareales o de “*foreshore*”. Por otro lado, las intercalaciones de lutitas grises se corresponderían con las zonas pantanosas situadas tierra adentro de la línea de costa o zonas de “*backshore*”.

Por último, y representando los dominios propiamente marinos, se situarían las facies de calizas del nivel AC-VS (figs. 3 y 4c-e), solamente registradas en la parte sur del área estudiada (anexo 1). Estas calizas bioclásticas y peloidales representarían zonas de *lagoon*, frecuentemente afectadas por la acción de las tormentas debido a la textura granosostenida dominante, a la mala clasificación y a la abundante fragmentación de los bioclastos; así como por la presencia de intraclastos calcáreos, fruto de la erosión del fondo marino durante estos eventos. La presencia de fauna típica de aguas con variaciones de salinidad (como miliólidos, ostreídos y algas dasycladaceas) sugiere una cierta restricción del *lagoon*, aunque tendría conexiones esporádicas con mar abierto debido a la presencia ocasional de fragmentos de equinoideos y ooides (probablemente resedimentados durante los episodios de tormentas), (fig. 3). Por otro lado, también serían frecuentes los aportes detríticos del continente, representados por los granos de cuarzo presentes (en ocasiones muy abundantes) y por los intraclastos de areniscas (fig. 4e). De esta forma, los pequeños interestratos de areniscas calcáreas con bioclastos, intercalados dentro del nivel, supondrían la interacción de los lóbulos de desbordamiento o zonas de playa con el *lagoon*, tal y como sugieren Val *et al.* (2018) y Campos-Soto *et al.* (2016; 2019).

Por otro lado, el pequeño sub-nivel de calizas micríticas con porosidad fenestral y laminación algal registrado en la base de AC-VS a lo largo de toda la parte septentrional del sector sur de la zona de estudio (figs. 3h-i y 4c), se correspondería con una pequeña franja intermareal carbonatada, situada en una zona relativamente aislada de los aportes detríticos del continente. Depósitos de características similares ya han sido recogidos por Campos-Soto *et al.* (2016; 2019) para la misma formación en zonas cercanas.

Por último, cabe destacar que, en la zona de estudio, la Fm. Villar del Arzobispo se presenta de forma neta y ligeramente discordante sobre la Fm. Jabaloyas. Lo primero se hace evidente observando las claras diferencias litológicas que existen entre el techo de la Fm. Jabaloyas y la base de la Fm. Villar del Arzobispo (anexos 2 y 3); mientras que lo segundo ha sido determinado por medio de la toma de datos de dirección y buzamiento en ambas formaciones (anexo 1), observándose diferencias lo suficientemente notables como para deducir la presencia de una discordancia cartográfica entre ellas, pese a que, aparentemente, los niveles sobre los que se apoya la Fm. Villar del Arzobispo son siempre de características similares. Este límite entre ambas formaciones es una característica que destaca, ya que, tradicionalmente, siempre se ha interpretado el contacto inferior de la Fm. Villar del Arzobispo

como gradual y concordante sobre las unidades de calizas marinas infrayacentes (Mas *et al.*, 1984; Luque *et al.*, 2005; Campos-Soto *et al.*, 2019; Liesa *et al.*, 2019). Esta característica distintiva de la zona de estudio podría estar asociada al desplazamiento de la zona *rifting* desde el margen NW de la Cuenca de Valencia hacia el SE; dinámica que ya ha sido indicada por Liesa *et al.* (2019) y Aurell *et al.* (2019), y que explicaría la existencia de una discordancia en la base de la formación para el margen NW de la cuenca, al mismo tiempo que tendría lugar el límite gradual y concordante en las zonas orientales.

4.2. Edad de la Fm. Villar del Arzobispo en la zona de estudio

La Fm. Villar del Arzobispo ha sido tradicionalmente objeto de discusión en cuanto a edad se refiere, aunque las últimas dataciones, basadas en la aparición de ciertos foraminíferos bentónicos en niveles calcáreos, sugieren una edad de Kimmeridgiense superior-Berriasiense basal? para esta unidad en la mayor parte de la Cuenca de Valencia (Campos-Soto *et al.*, 2019; Aurell *et al.*, 2019). Sin embargo, el área que nos ocupa comprende una parte marginal de la cuenca, en la que esta formación ya ha sido interpretada en trabajos previos como más antigua que en zonas más orientales, atribuyéndole edades que abarcan desde el techo del Kimmeridgiense hasta el Titoniense inferior (Bádenas *et al.*, 2008; Aurell *et al.*, 2019).

La caracterización del nivel calcáreo AC-VS en el presente trabajo, ha dado como resultado la aparición de foraminíferos bentónicos de las especies *Alveosepta jaccardi* y *Redmondellina powersi* (fig. 3), los cuales presentan un rango temporal que abarca desde el Oxfordiense superior hasta el Kimmeridgiense superior (Boudagher-Fadel, 2018). A su vez, trabajos previos han asignado a la formación infrayacente (Fm. Jabaloyas) una edad de Kimmeridgiense superior, probablemente durante las biozonas *acanthicum* y *exodus* (Aurell *et al.*, 2019). Esto último, limita la edad del nivel AC-VS, y por tanto, la edad de la parte inferior de la Fm. Villar del Arzobispo en los alrededores de Veguillas de la Sierra y Arroyo Cerezo, a la parte más alta del Kimmeridgiense superior. De esta forma, los restos citados por Laparent (1966), situados en el yacimiento “El Cebadal”, se situarían dentro de dicha edad. La parte superior de la formación no se ha conseguido datar debido a la ausencia de niveles calcáreos, por lo que no se descarta que se alcance, en algún punto de esta, la base del Titoniense. Sin embargo, la localización estratigráfica de los tres yacimientos de “El Cebadal” y el de “El Pinillo”, se encuentra a menos de 3 m por encima del nivel AC-VS, por lo que, probablemente, los restos allí encontrados sigan presentando una edad de Kimmeridgiense terminal.

La parte norte del área de estudio tampoco se ha podido datar debido a la ausencia de niveles calcáreos, y las diferencias sedimentológicas con la parte sur impiden establecer una correlación estratigráfica fiable. Sin embargo, la cercanía entre ambos sectores impide la existencia de grandes diferencias cronológicas, asignándose también una edad de Kimmeridgiense terminal-Titoniense basal? a la parte norte.

4.3. Discusión paleontológica

La escama procedente del yacimiento “La Casilla 1” ha sido asignada a la clase Actinopterygii debido a su morfología triangular (lo que sugiere un contorno romboidal en caso de no haber estado fragmentada) y textura lisa, características que permiten clasificarla como de tipo ganoidea, lo cual es interpretado como un carácter autapomórfico de esta clase (Nelson *et al.*, 2016).

En cuanto a los restos óseos descritos en el presente trabajo, se ha averiguado que proceden de dos yacimientos situados en niveles muy cercanos estratigráficamente hablando, aunque la distancia geográfica que los separa indica que pertenecen a individuos distintos. En ambos casos, las grandes dimensiones de los centros vertebrales PIN-1 y CAS3-1 sugieren la pertenencia a dinosaurios saurópodos; mientras que la presencia de procesos transversos reducidos, las dimensiones de altura y longitud del centro similares, y la existencia de facetas para los arcos hemales, sugieren una posición caudal media proximal para ambos.

Las características de PIN-1 y CAS3-1 son muy similares, de manera que ninguno de ellos presenta surcos ventrales ni pleurocelos, por lo que se descarta su pertenencia a la subfamilia Diplodocinae (Wilson, 2002). A su vez, la ausencia de crestas longitudinales en las caras laterales de ambos centros los excluye de las familias Diplodocidae y Dicraeosauridae (Tschopp *et al.*, 2015). Por otro lado, en ambos centros se observa que el índice longitud anterior-posterior (l)/altura posterior (hp) se sitúa en torno a valores de 1,2; cifras muy alejadas del índice mínimo de 1,7 propuesto por Tschopp *et al.*, 2015 para las vértebras caudales medias del clado Diplodocimorpha, lo que permite descartar definitivamente su pertenencia a todas las familias integradas en este clado (Diplodocidae, Dicraeosauridae y Rebbachisauridae).

Otro rasgo de interés presente en los dos centros vertebrales, es la posición anterior de los pedicelos, lo que parece sugerir una posición del arco neural también desplazada hacia la parte anterior. Este carácter ha sido tradicionalmente interpretado como sinapomorfía del clado Titanosauriformes (Salgado *et al.*, 1997), aunque trabajos recientes también lo han citado de manera convergente en saurópodos más primitivos, como algunos turiasauros derivados (Royo-Torres *et al.*, 2017). Pese a esto último, dichos turiasauros presentan caudales medias con surcos ventrales y con caras articulares más altas que anchas (Britt *et al.*, 2017; Royo-Torres *et al.*, 2017), lo que las diferencia de PIN-1 y CAS3-1. Así mismo, la relación anchura (a)/altura (h), que es superior en ambos centros a 1,2, se vuelve un rasgo que también los diferencia de las caudales medias características de los géneros *Cetiosaurus*, *Haplocantiosaurus*, *Camarasaurus* y del turiasauro *Losillasaurus giganteus* (Tschopp *et al.*, 2015); mientras que esta medida se asemeja a las de los titanosauriformes basales *Brachiosaurus* y *Giraffatitan* (Tschopp *et al.*, 2015), así como a otros titanosauriformes jurásicos de la Península Ibérica como *Lusotitan atalaiensis* (Mannion *et al.*, 2013; Mocho *et al.*, 2016) y *Galvesaurus herreroi* (Barco *et al.*, 2005; Barco, 2009; Pérez-Pueyo *et al.*, 2019).

Todos estos aspectos parecen sugerir que los centros PIN-1 y CAS3-1 pueden pertenecer a saurópodos del clado Titanosauriformes, aunque la asignación de estos restos a un taxón específico resulta arriesgada, debiéndose contrastar estos resultados preliminares con el hallazgo de otros restos de interés en los respectivos yacimientos. De esta forma, la asignación de CAS3-1 a la especie *Turiasaurus riodevensis* propuesta por Royo-Torres *et al.*, 2008, resultaría aun más apresurada, sobre todo teniendo en cuenta la ausencia, hasta el momento, de caudales medias pertenecientes a dicho taxón (Royo-Torres *et al.*, 2006) y las notables diferencias con las procedentes de otros integrantes del clado Turiasauria. Así mismo, los elementos cárpales CAS3-2 y CAS3-3 también han sido asignados preliminarmente al clado Titanosauriformes debido a su hallazgo dentro del mismo nivel que CAS3-1, por lo que se interpreta que pertenecen al mismo individuo.

Por último, cabe abordar la interpretación del bloque de icnitas Al-1. De las dos icnitas representadas, la de la izquierda en la fig. 11 presenta un talón y un dedo central redondeados y bien representados, presentando este último una marca ungueal, también redondeada, que se asemeja a las dejadas por dinosaurios ornitópodos de pequeño tamaño (Thulborn, 1990). Así mismo, el ensanchamiento del dedo central en su parte media, los ángulos interdigitales de en torno a 45° y las dimensiones similares

entre longitud y anchura de la icnita, son rasgos observados en icnotaxones asignados a ornitópodos de mayor tamaño como *Iguanodontipus* (Lockley *et al.*, 2014). A su vez, la icnita situada a la derecha en la fig. 11, está conformada por solo un dedo, el cual presenta la marca de tres almohadillas y una terminación con una marca de uña redondeada. Estas características también han sido identificadas en icnitas preservadas en sedimentos coetáneos, y han sido asignadas a productores ornitópodos de pequeño tamaño (Castanera *et al.*, 2013).

5. CONCLUSIONS

In the Veguillas de la Sierra-Arroyo Cerezo-Alobras zone, the Villar del Arzobispo Fm is located sharply and slightly discordant over the Jabaloyas Fm, and is integrated by a succession of lutites and sandstones, with occasional conglomerate and limestone levels deposited in a marginal area of the Valencia Basin.

The dominant levels of lutites with centimeter-thick tabular sandstones are interpreted as flood plain deposits, in which wood fragments and dinosaur remains are common, so that “El Cebadal”, “La Casilla” and “El Pinillo” paleontological sites are integrated in that facies. On the other hand, the microconglomerate-coarse sandstones deposits with canaliform bases represent the filling of fluvial channels. The decimeter to meter-thick tabular sandstone levels with cross and low angle stratification are assigned to beach deposits.

The only limestone level found in this area is located in the southern part, and has been called AC-VS. This level is dominantly composed of bioclastic packestone-grainstones, with a fossil content that suggests its deposit in a semi-restricted lagoon, and a benthic foraminífera assemblage that indicate an uppermost Kimmeridgian age for, at least, the lower part of the formation. In the lower part of AC-VS the local presence of algal-laminated mudstones with fenestral porosity, indicates the setting of intermareal sediments.

The fossil content of the “El Pinillo” and “La Casilla-3” sites, highlights the middle caudal vertebral centrums PIN-1 and CAS3-1, which are provisionally assigned to titanosauriform sauropods based on the centrums proportions, the anterior position of the pedicels and the absence of ventrolateral ridges and ventral hollows. The carpal elements CAS3-2 and CAS3-3 are assigned to the same member as CAS3-1, and the AI-1 tracks are attributed to ornithopod makers because of the ichnite proportions and the sub-rounded heel, finger and ungual marks.

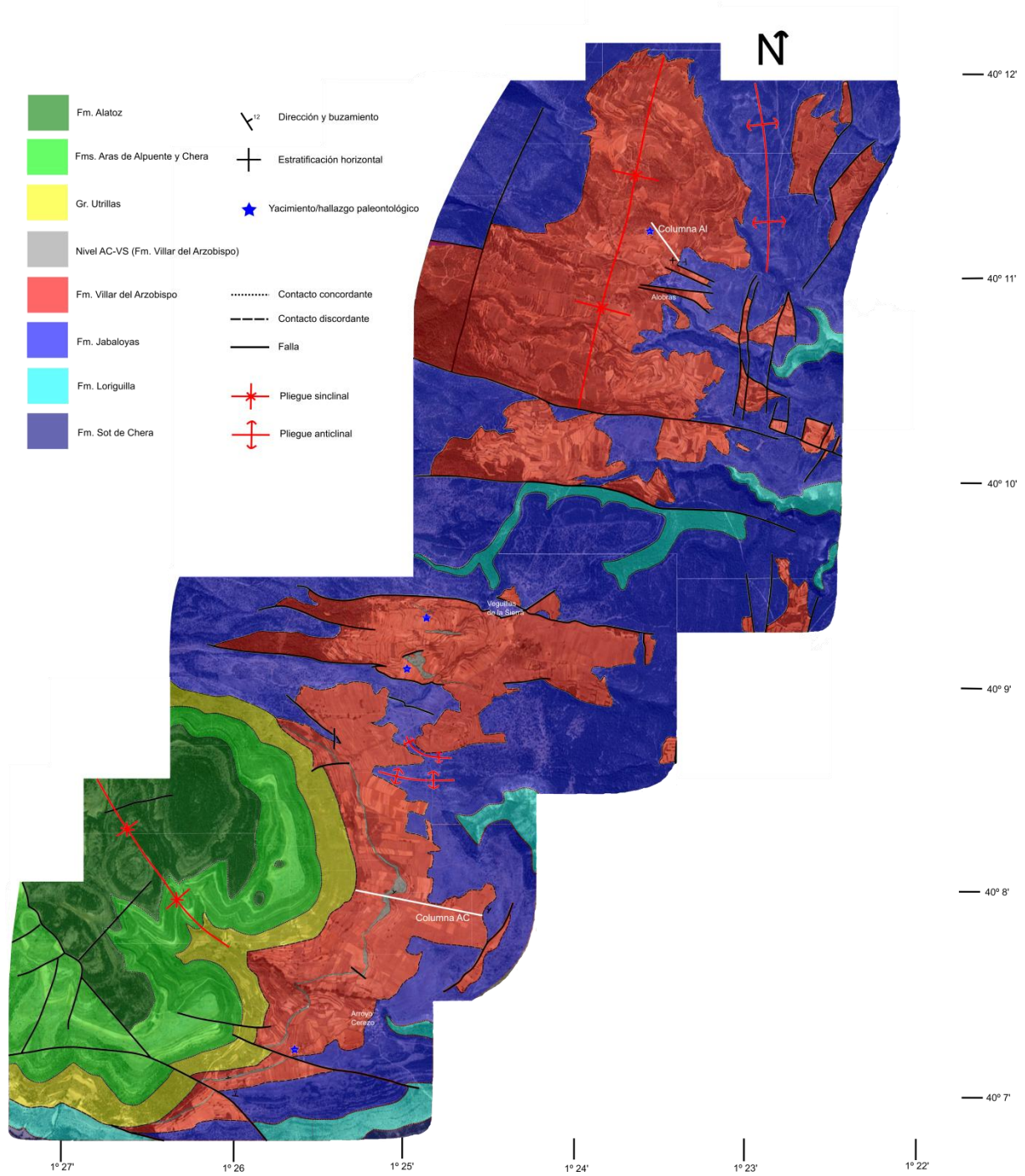
6. REFERENCIAS

- Aurell, M. y Bádenas, B. (2004): Facies and depositional sequence evolution controlled by high-frequency sea-level changes in a shallow-water carbonate ramp (late Kimmeridgian, NE Spain). *Geological Magazine*, 141: 717-733.
- Aurell, M., Fregenal-Martínez, M., Bádenas, B., Muñoz-García, M. B., Élez, J., Meléndez, N. y de Santisteban, C. (2019): Middle Jurassic-Early Cretaceous tectono-sedimentary evolution of the southwestern Iberian Basin (central Spain): Major paleogeographical changes in the geotectonic framework of the Western Thetys. *Earth Science Reviews*, 199: 1-33.
- Aznar, J. M., Olivé, A., Moissenet, E., Hernández, A., Portero, J. M., Gutiérrez, M., Aguilar, M. J., Ramírez, J., Aragonés, E. y Jiner, J. (1983): *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 589 (Terriente) y memoria*. IGME, Madrid. 80p.
- Bádenas, B., Aurell, M., Ipas, J. y Espílez, E. (2008): Evolución de facies y secuencias de alta frecuencia en las plataformas del final del Jurásico al suroeste de la provincia de Teruel. *Revista del Instituto de Estudios Turolenses*, 92(1): 67-96.
- Barco, J. L. (2009): *Sistemática e implicaciones filogenéticas y paleobiogeográficas del saurópodo Galvesaurus herreroi (Formación Villar del Arzobispo, Galve, España)*. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 405 p.
- Barco, J. L., Canudo, J. I., Cuenca-Bescós, G. y Ruiz-Omeñaca, J. I. (2005): Un nuevo dinosaurio saurópodo, *Galvesaurus herreroi* gen. Nov., sp. nov., del tránsito Jurásico-Cretácico en Galve (Teruel, NE de España). *Naturaleza Aragonesa*, 15: 4-17.
- BouDagher-Fadel, M. K. (2018): The Mesozoic Larger Benthic Foraminifera: The Jurassic. En: *Evolution and Geological Significance of Larger Benthic Foraminifera* (segunda edición) (UCL Press, ed.). UCL Press, Londres, 203-258.
- Britt, B. B., Scheetz, R. D., Whiting, M. F. y Wilhite, D. R. (2017): *Moabosaurus utahensis*, N. Gen., N. SP., a new sauropod from the Early Cretaceous (Aptian) of North America. *Contributions of the Museum of Paleontology, University of Michigan*, 32: 189-243.
- Campos-Soto, S., Benito, M. I., Cobos, A., Caus, E., Quijada, I. E., Suárez-González, P., Mas, J. R., Royo-Torres, R. y Alcalá, L. (2019): Revisiting the age and paleoenvironments of the Upper Jurassic-Lower Cretaceous? Dinosaur bearing sedimentary record of Eastern Spain: implications for Iberian paleogeography. *Journal of Iberian Geology*, 45: 471-510.
- Campos-Soto, S., Benito, M. I., Mas, R., Caus, E., Cobos, A., Suárez-Gonzalez, P. y Quijada, I. E. (2016): Revisiting the Late-Jurassic-Early Cretaceous of the NW South Iberian Basin: new ages and sedimentary environments. *Journal of Iberian Geology*, 42(1): 69-94.
- Castanera, D., Vila, B., Razzolini, N. L., Falkingham, P. L., Canudo, J. I., Manning, P. L. y Galobart, A. (2013): Manus track preservation bias as a key factor for assessing trackmaker identity and quadrupedalism in basal ornithopods. *Plos one*, 1: e54177.
- Gámez, J. A. y Belinchón, M. (2013): Análisis crítico de la “icnita” de Arroyo Cerezo, primera huella de dinosaurio descrita en España. En: *XXIX Jornadas de Paleontología*. Libro de Resúmenes, 1: 79-80.

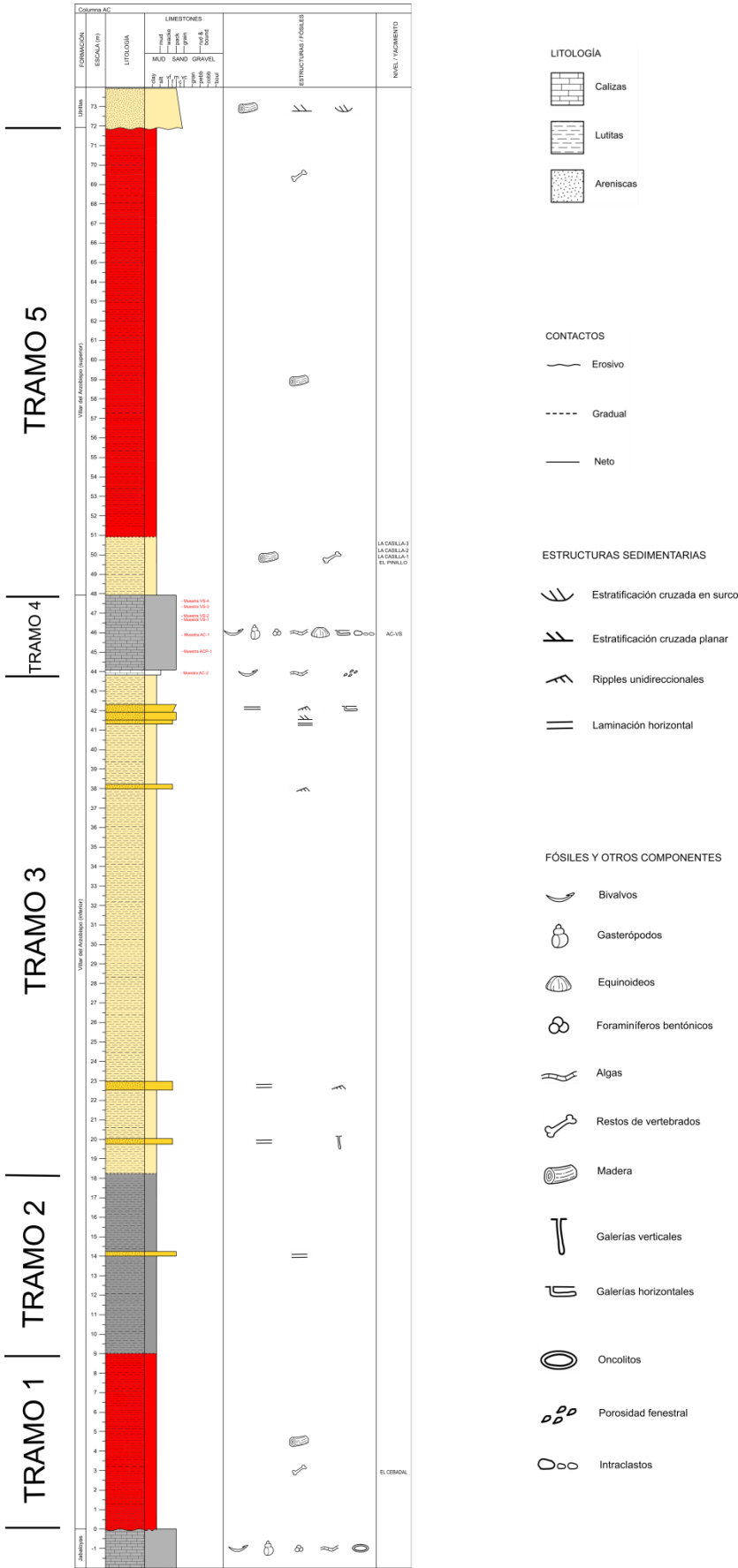
- Herrero, J. y Pérez-Lorente, F. (2013): Icnitas terópodos, saurópodos y tireóforas (Jurásico Superior-Cretácico Inferior) en Moscardón (Teruel, España). *Geogaceta*, 54: 67-70.
- de Lapparent, A. F., Le Joncour, L., Mathieu, A. y Plus, B. (1965): Découverte en Espagne d'empreintes de pas de Reptiles mésozoïques. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural* (Geología), 63: 225-230.
- de Lapparent, A. F. (1966): Nouveaux gisements de reptiles mésozoïques en Espagne. *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 84: 103-110.
- Liesa, C.L., Soria, A.R., Casas, A., Aurell, M., Meléndez, N., Bádenas, B., Fregenal-Martínez, M., Navarrete, R., Peropadre, C., Rodríguez-López, J.P., 2019. The South Iberian, Central-Iberian and Maestrazgo basins. En: *The Geology of Iberia: A Geodynamic Approach* (Quesada, C y Oliveira, J. T., eds.). Springer Nature, Suiza, 214-228.
- Lockley, M. G., Xing, L., Lockwood, J. A. y Pond, S. (2014): A review of large Cretaceous ornithomimid tracks, with special reference to their ichnotaxonomy. *Biological Journal of the Linnean Society*, 113: 721-736.
- Luque, L., Cobos, A., Royo-Torres, R., Espílez, E. y Alcalá, L. (2005): Caracterización de los depósitos sedimentarios con dinosaurios de Riodeva (Teruel). *Geogaceta*, 38: 27-30.
- Mannion, P. D., Upchurch, P., Barnes, R. N., y Mateus, O. (2013): Osteology of the Late Jurassic Portuguese sauropod dinosaur *Lusotitan atalaiensis* (Macronaria) and the evolutionary history of basal titanosauriforms. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 168: 98-206.
- Mas, J. R. y Alonso, A. (1983): Jurásico terminal y Cretácico. *Mapa Geológico de España 1:200.000, memoria de la Hoja nº 55 (Lliria)*. IGME, Madrid.
- Mas, J. R., Alonso, A. y Meléndez, N. (1984): La formación Villar del Arzobispo: un ejemplo de llanuras de mareas siliciclásticas asociadas a plataformas carbonatadas. Jurásico terminal (NW de Valencia y E de Cuenca). *Publicaciones de Geología*, 20: 175-188.
- Meléndez, M. N. (1983): *El Cretácico de la región de Cañete-Rincón de Ademuz (provincias de Cuenca y Valencia)*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 242p.
- Mocho, P., Royo-Torres, R. y Ortega, F. (2016): New data of the Portuguese brachiosaurid *Lusotitan atalaiensis* (Sobral Formation, Upper Jurassic). *Historical Biology*, 29: 789-817.
- Nelson, J. S., Grande, T. C. y Wilson, M. V. H. (2016): *Fishes of the world* (quinta edición). John Wiley and Sons, New Jersey, 752 p.
- Pérez-Pueyo, M., Moreno-Azanza, M., Barco, J. L. y Canudo, J. I. (2019): New contributions to the phylogenetic position of the sauropod *Galvesaurus herreroi* from the late Kimmeridgian-early Tithonian (Jurassic) of Teruel (Spain). *Boletín Geológico y Minero*, 130 (3): 375-392.
- Royo-Torres, R., Cobos, A. y Alcalá, L. (2006): A giant European dinosaur and a new sauropod clade. *Science*, 31: 1925-1927.
- Royo-Torres, R., Cobos, A. y Alcalá, L. (2008): Primeros restos directos de dinosaurios en la Sierra de Albarraçín (Teruel). En: *XXIV Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología*. Comunicaciones, 1: 189-190.

- Royo-Torres, R., Upchurch, P., Kirkland, J. I., DeBlieux, D. D., Foster, J. R., Cobos, A. y Alcalá, L. (2017): Descendants of the Jurassic turiasaurs from Iberia found refuge in the Early Cretaceous of western USA. *Scientific Reports*, 7: 14311.
- Rubio, J., Abril, J., Apalategui, O. y García, F. (1978): *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 612 (Ademuz) y memoria*. IGME, Madrid. 47p.
- Salas, R., Guimerà, J., Mas, J. R., Martín-Closas, C., Meléndez, A. y Alonso, A. (2001): Evolution of the Mesozoic central Iberian rift system and its Cainozoic inversión (Iberian chain). *Mémoires du Muséum d'Histoire Naturelle*, 186: 145-185.
- Salgado, L., Coria, R. A. y Calvo, J. O. (1997): Evolution of titanosaurid sauropods: phylogenetic analysis based on postcranial evidence. *Ameghiniana*, 34: 3-32.
- de Santisteban, C. y Santos-Cubedo, A. (2010): Patrones de variación de facies en relación con regresiones forzadas en los depósitos de la Formación Villar del Arzobispo (Cuenca Íbero-Levantina). En: *V Congreso del Jurásico de España*. Comunicaciones, 1: 142-148.
- Thulborn, T. (1990): *Dinosaur tracks*. Chapman and Hall, Londres, 410 p.
- Tschopp, E., Mateus, O. y Benson, R. B. J. (2015): A specimen-level phylogenetic analysis and taxonomic revision of Diplodocidae (Dinosauria, Sauropoda). *PeerJ*, 3: e857.
- Val, J., Aurell, M., Bádenas, B., Castanera, D. y Subías, S. (2018): Cyclic carbonate-siliciclastic sedimentation in a shallow marine to coastal environment (latest Kimmeridgian-early Tithonian, Galve sub-basin, Spain). *Journal of Iberian Geology*, 45: 195-222.
- Wilson, J. A. (2002): Sauropod dinosaur phylogeny: critique and cladistic analysis. *Zoological Journal of the Linnean Society of London*, 136: 217-276.

ANEXO 1: cartografía de la zona



ANEXO 2: columna AC



ANEXO 3: columna AI

